

PÕLEVKIVI-KUKERSIIDI OLEMUSEST JA OMADUSTEST

H. TRUU,

tehniliste teaduste doktor

Põlevkivi suhtes on senini põhiliselt piiratud keemiliste omaduste uurimisega, millest aga ei piisa põlevkivi termilise töötlemise ja põletamise tehnoloogia väljaarendamiseks kõrgele teaduslik-tehnilisel tasemel.

Käesolevas artiklis esitatakse Eesti NSV Teaduste Akadeemia Energeetika Instituudis 1949. ja 1950. aastal teostatud uurimiste tulemusi põlevkivi struktuuri, tema tükide kuju ja mõnede füüsikalis-keemiliste omaduste alal¹.

Kivimite määramise ja klassifikatsiooni tunnustena omavad tekstuur ja struktuur suurt tähtsust maavarade petrograafia uurimisel. samuti ka tahkete põlev-maavarade põlemisel esinevate nähtuste selgitamisel ja koldeprotsessi tehnoloogiasse puutuvate küsimuste lahendamisel. Eristatava tähtsust omavad nad ebamonoliitse, hajutatud aine koostisega kütuse puhul, nagu seda on põlevkivi. Tahkekütuste tähtsaim koostisosa — süsinik — esineb looduses kristallunult kas teemandi näol erikaaluga 3,5 või grafiidina erikaaluga 2,5, samuti vormitu süsinikuna erikaaluga 1,8—1,9. Looduslikud söed ja koks kujutavad endast peeneteralist grafiiti rakkvõrkude jäänustega. Puhta grafiidiga võrreldes suurendab süte ja koksides poorsus viimaste eripinda ja reaktsioonivõimet. M. D. Zaleski ja teiste paleobotanikute töödest võib järeldada, et settekivimina omab põlevkivi kiltkivilist tekstuuri ja struktuuri⁽⁴⁾. Et lahendada põlevkivi ratsionaalseks põletamiseks kui ka termiliseks töötlemiseks vajalikke küsimusi, nagu orgaanilise aine paiknemine anorgaanilises keskkonnas, osakeste suurused ja massi poorsus, teostati 1949. aasta lõpul põlevkivi struktuuri uurimine, milleks kasutati „Küttejõu” kaevandusest võetud proove seitsmest põlevkivikihist ja vahekihtidest. Fotomikroskoopiliseks uurimiseks valmistati nendest kihtidest 90 õhikut kihtide püstlõigetest ja 11 õhikut rõhtlõigetest ning 3 õhikut vahekihtidest. Õhikute valmistamiseks kasutatud proovis määrati orgaanilise aine, karbonaatide ja terrigeense aine sisaldus ning teostati kihtide keskmise proovi keemiline analüüs (tabelid 1 ja 2). Siinjuures määrati orgaanilise aine sisaldus (põletamismeetodiga), kütteväärtus pommianalüüsi teel ja tuhasisaldus proovi kuumutamiseks kuni 1000°-ni.

¹ Need uurimised moodustasid ühe olulise osa autori töös „Põlevkivi põletamise teooria ja praktika”⁽²⁾. See töö teostati aastail 1949—1952 NSV Liidu Teaduste Akadeemia korrespondentide liikmete M. A. Stõrikovitši ja L. N. Hitrini konsulteerimisel. Töö teostamist põlevkivi struktuuri uurimisel abistas väärtuslike nõuannetega Eesti NSV Teaduste Akadeemia tegevliige A. Luha. Fotomikroskoopilised analüüsid teostati Tartu Riikliku Olikooli geoloogia kateedri laboratooriumi poolt.

Tabel 1

Orgaanilise aine, karbonaatide ja terrigeense aine sisaldus põlevkivi kuivaines
(kaaluprotsentides)

Kiht	Orgaaniline aine	Karbonaadid	Terrigeenne aine
A	48,2	30,6	21,2
A ₁	32,4	38,5	29,1
B	52,1	26,5	21,4
C	45,7	24,2	30,1
D	46,2	20,2	34,6
E	30,1	—	—
F	—	—	—
„Roosa paas“	7,4	36,2	6,4

Tabel 2

Põlevkivi kihtide keskmise proovi orgaanilise aine ja tuha sisaldus ning proovi põlemisväärtus (kuivaine kohta)

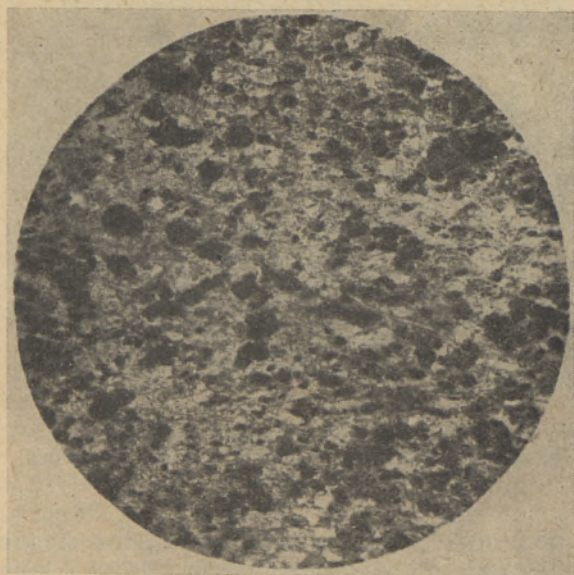
Kiht	Org. ainet %	A %	CO ₂ %	A + CO ₂ %	Q _p kcal/kg
A	47,5	39,9	12,6	52,5	4151
A ₁	20,6	54,8	24,6	79,4	1710
B	50,3	35,8	13,9	49,7	4649
C	31,1	49,4	19,5	68,9	2821
D	37,2	51,6	11,2	62,8	3333
E	40,1	44,0	15,9	59,9	3656
F	31,5	49,2	19,3	68,5	2922

Põlevkivi geoloogilistest proovidest valmistatud õhikute vaatlused polarisatsioonmikroskoobi abil ja fotoülesvõtted tõestasid, et selle kütuse aine kujutab endast hajutatud süsteemi, mille keskkonnaks võiks lugeda anorgaanilist osa karbonaatide ja terrigeense aine näol ja faasideks — orgaanilise aine pesakesi. Karbonaatse osa põhimassi moodustavad biogeense tekkega ained (joon. 1). Orgaanilise aine pesakesed omavad pruunikat ja kollakat värvust ning on kihi püstlõikes ovaalse kujuga, kihi rõhtlõikes aga enam-vähem ümarad (joon. 2 ja 3). Pesakeste läbimõõt oli 0,02 kuni 0,14 mm, nende sisu moodustasid 10 kuni 30 pruunika värvusega munakujulist terakest läbimõõduga 0,003 kuni 0,006 mm. Munakesi ümbritses kollaka värvusega kattekiht. M. D. Zaleski loeb eelnimetatud pesakesi vetikate jäänusteks. Pesakestevahelise keskkonna moodustab karbonaat- ja terrigeense aine sete. Põlevkivi koostisosade — orgaanilise aine ja karbonaatide või nende mõlemate kõrvaldamise järel säilitab põlevkivitükk oma struktuuri ja kuju, mida võib tähele panna ka põlevkivi põletamisel. Terrigeenne aine kujutab endast poorset massi, mis koosneb põhiliselt terakestest suurusega 0,002 kuni 0,006 mm, kuid esineb ka kvartsi terakesi suurusega kuni 0,3 mm. Nimetatud terakeste servad on teravad, mis laseb oletada põlevkivi lademe tekkimist mere põhjas küllaldases, lainetevabas sügavuses. Põlevkivi anorgaanilise osa poorsus ja see, et liivaterakesed põlevkivituhas on väga peened ning teravaservalised, põhjustab selle tuha kerge kaasakan-tavuse gaasi voolus ja selle tagajärjel kütteseadmete metalliliste pindade suure kulumise.

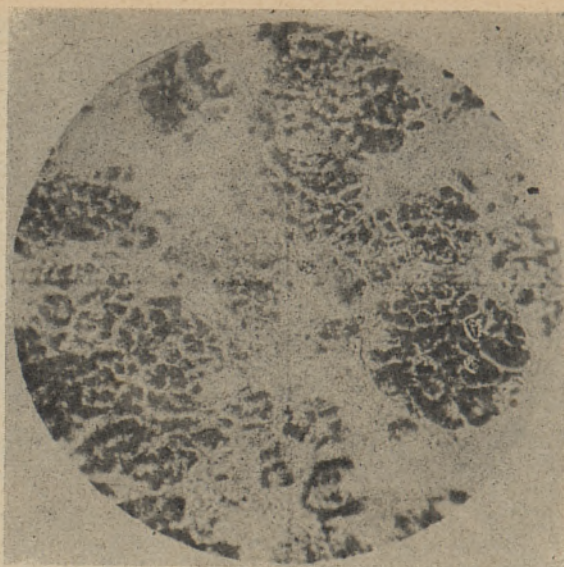
Arvestades seda, et tuletehnilised protsessid kulgevad kõrgetel temperatuuridel (üle 900°) ja et põlevkivi termiline töötlemine õliks ja gaasiks omab suurt tähtsust, pakub kahtlemata suurt huvi põlevkivi struktuuri tundma-



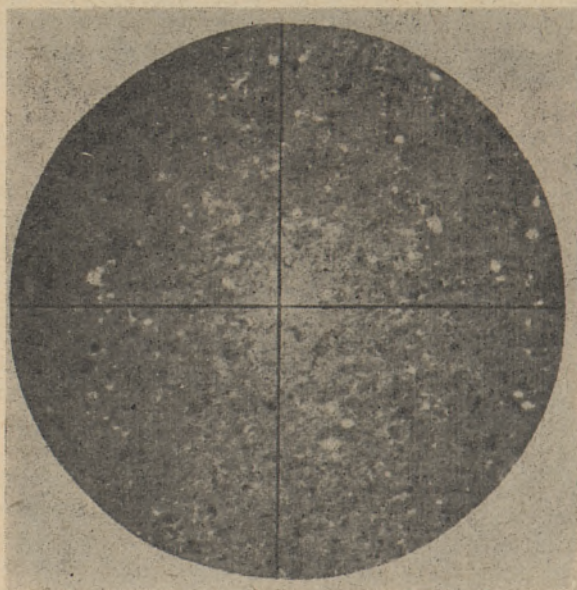
Joon. 1. Ülesvõte põlevkivist.



Joon. 2. Mikroskoopiline ülesvõte põlevkivikihi B püstlõikest (suurendus 90 korda. Tumedad laigud tähistavad orgaanilist, heledad — anorgaanilist ainet).



Joon. 3. Mikroskoopiline ülesvõte põlevkivist (suurendus 600 korda).

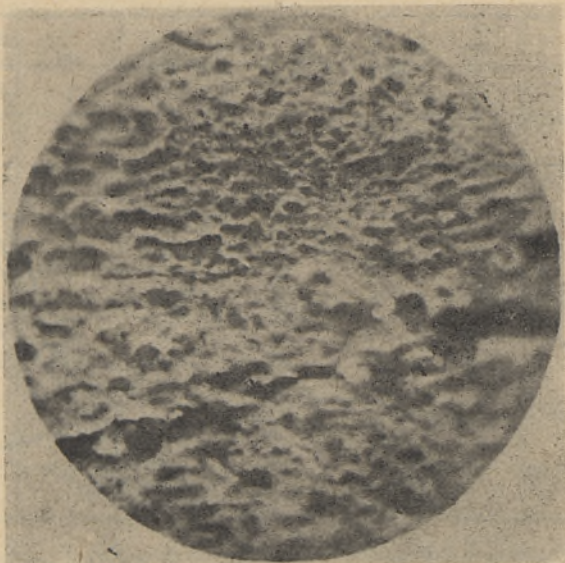


Joon. 4. Mikroskoopiline ülesvõte põlevkivi püsti-
löikest pärast kuumutamist kuni 400° -ni (suurendus
100 korda).

õppimine selle aine termilise töötlemise mitmesugustes staadiumides. Katsetööde tulemused näitasid, et kuumutamine kuni 200° -ni ei kutsu esile märgatavat muutust põlevkivi struktuuris. Kuumutamisel temperatuurini 380 — 400° valgub orgaaniline aine laiali ja esialgsete kolooniate asukohti märgistavad vaid kohati esinevad üksikud täpikesed — vetikakehakeste jäänused

(joon. 4). Nimetatud asjaolu kinnitab seda, et temperatuur 380—400° vastab põlevkivi püro-bitumineerimise temperatuurile. Kuumutamisel 500°-ni muutuvad põlevkivi pesade asukohad tühjaks, nagu põlevkivi anorgaanilises jäätmeski pärast orgaanilise osa väljapõletamist (joon. 5). Järelikult on põlevkivi orgaaniline osa täies ulatuses lendaine, mis lahkub oma algasukohast temperatuuril kuni 500°. Põlevkivi termilisel töötlemisel madala- või kõrgetemperatuurilises protsessis sadestub teatav osa orgaanilist ainet (ligikaudu 15%) tahke jäägina poorses anorgaanilises „skeletis”, kujundades selle kas põlevkivi poolkoksiks või koksiks.

Ühtlasi võis tähele panna ka seda, et peale orgaanilise aine pesade ei leitud uuritud põlevkivikihtides mingisugust teisekujulist orgaanilise aine



Joon. 5. Mikroskoopiline ülesvõte põlevkivi tuhast (suurendus 90 korda).

paiknemist. Orgaanilise aine pesad esinesid ka vahekihtides, kuid vähemal määral, võrreldes nende hulga põlevkivis.

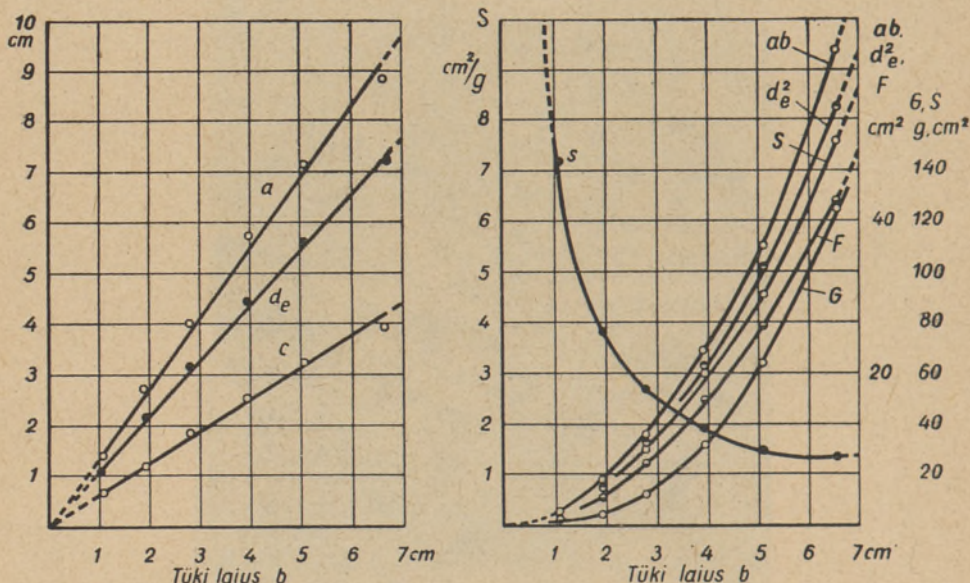
Nimetada tuleks veel seda, et mitte kõikides põlevkivides ei esine orgaaniline aine pesadena. Nii Djalinski leiukoha (Aserbaidžani NSV) põlevkivis, Volga-äärses põlevkivis ja Eesti NSV diktüoneema-kiltkivis paikneb orgaaniline aine peeneteraliselt hajutatuna kogu kivimis⁽³⁾.

Väga oluliseks küsimuseks tuletehnikas on kütuse põlemise arendamine kiirpõlemiseks, mis eeldab hästikorraldatud koldeprotsessi. Et lahendada seda ülesannet, peame tundma tahke kütuse teiste omaduste kõrval ka tema tükkide kuju, mida iseloomustatakse vastavate geomeetriliste näitajatega. Kütuse osakese kujust sõltuvad aerodünaamilised tegurid põlemisprotsessis, soojusvahetuse toime, küttekihi tihedus ja muud tegurid. Erilist tähtsust omab siinjuures kütuse osakese välis-eripinna suuruse näitaja. Koksitükide kuju on uurinud J. O. Gabinski ja E. J. Badanova⁽¹⁾. Alljärgnevas toome põlevkivi tükkide kuju uurimise tulemusi.

Kivimi tüki kuju sõltub nähtavasti kivimi omadustest ja tootmisviisist. Põlevkivi on pehme sette kivim, mille kõvaduseaste on 2,5—3,0. Murdetugevus ladestuse suunas võrdub keskmiselt 36 kg/cm². Murdetugevus selle lademe püstlõikes on tunduvalt väiksem. Tükid murenevad kergesti ning

sorteeritud põlevkivi sisaldab kuni 10% peenainet. Põlevkivi on ladestunud kihtidena paksusega 0,08–0,60 m; kihid on erineva koostisega ja vahelduvad aheraine kihtidega.

Käesoleva uurimise ülesandeks oli põlevkivitükkide geomeetrilise kuju iseloomustamine ja valemi koostamine tüki välispinna määramiseks. Selleks võeti 1950. aastal „Kiviõli” kaevanduses toodetud põlevkivist proovid ning eraldati tükid läbimõõduga: 0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50, ja 50–65 mm, arvult 100 tükki igast eelnimetatud suurusjärgust. Lähtudes asjaolust, et põlevkivi on põhiliselt rööptahukaline kiltkivi, mõõdeti tükkide suurus: pikkus a , laius b , paksus c , tüki suurima pinna projektsioon F , välispind S , maht V , kaal G ja määrati näiline erikaal γ_n . Arvutuse teel



Joon. 6. Põlevkivitükkide kuju lineaarseid, ruut- ja kuubilisi iseloomustusi.

määrati projektsioonpinnaga F pindvõrdse ringi läbimõõt d_e , tüki joonmõõtudest a ja b kujundatud ristküliku pindala ab ja ruumala Fc . Tükkide geomeetrilise kuju iseloomustamiseks arvutati järgmised näitajad: $a : b$, $c : b$, $ab : F$, $Fc : V$, pinnakonstant f , ruumalakonstant k ja eripind $s = \frac{S}{G}$.

Põlevkivitükkide mõõtmised teostati vastava projektsioonaparaadi abil. Välispinna suuruse määramiseks kaeti põlevkivitükid tinapaberiga. Tükkide maht määrati hüdrostaatilise kaalumise, kaal tükkidel suurusega 0–10 ja 10–20 mm mõõdeti kaalumise analüütilistel kaaludel ja suuremate tükkide kaal — tehnilistel kaaludel täpsusega kuni 0,01 grammi. Kaalumisele eelnes niiskuse määramine põlevkivis ja hüdrostaatilisele kaalumisele eelnes katmine parafiiniga, et vältida tükkide lagunemist vees.

Joonisel 6 on toodud põlevkivitükkide joon-, ruut- ja kuupmõõtmete sõltuvus tüki laiusest b , mis on määrava tähtsusega mõõduks tahke aine sõelumisel. Tüki pikkus a , paksus c ja suurima ristlõike projektsiooniga pindvõrdse ringi läbimõõt d_e kasvavad proportsionaalselt tüki laiusega b , mis näitab põlevkivitükkide ligikaudset sarnasust suurusjärgus kuni 65 mm.

Ligikaudselt konstantseteks võib lugeda ka suhteid $\frac{ab}{F}$, $\frac{Fc}{V}$ ning f ja K

väärtusi, sest nende näitajate suuruste ruuthälbed katsetatud põlevkivitük-
kide keskmistest näitajatest ei ületanud 5,32%, s. o. $\sigma < 5,32\%$. Tuginedes
eelnimetatud seaduspärasusele levinuma geomeetrilise kujuga põlevkivitük-
kide kohta suurusega kuni 65 mm ja arvesse võttes eespoolnimetatud katse-
liselt kindlaksmääratud arvulisi näitajaid, saame põlevkivitükkide geomeet-
rilise kuju iseloomustamiseks järgmised seosed:

tüki pikkus $a = 1,43b$;

tüki paksus $c = 0,64b$;

tüki projektsioonipind $F = \frac{ab}{f_1} = \frac{1,43b^2}{1,42} \approx b^2$, kusjuures $f_1 = \frac{ab}{F} = 1,42$;

pindvõrdse ringi läbimõõt $d_e = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}$

ehk, kui avaldada F suuruse b kaudu,

$$d_e = \sqrt{\frac{4b^2}{\pi}} = 1,13b \text{ ning } d_e^2 = 1,275b^2;$$

tüki maht $V = \frac{Fc}{k_1} = \frac{b^2 \cdot 0,64b}{1,697} = 0,38b^3$, kusjuures $k_1 = \frac{Fc}{V} = 1,697$;

tüki mahu V võib avaldada ka teisiti:

$$V = kd_e^3 = 0,265(1,13b)^3 = 0,38b^3,$$

kusjuures mahukonstant $k = 0,265$;

tüki välispind $S = fd_e^2 = 2,96(1,13b)^2 = 3,76b^2$,

kusjuures välispinna konstant $f = 2,96$;

$$\text{tüki eripind } s = \frac{S}{\gamma_n V} = \frac{3,76b^2}{\gamma_n 0,38b^3} = \frac{9,9}{\gamma_n b} \frac{\text{cm}^2}{\text{g}},$$

kusjuures γ_n on näiline erikaal ja arv 9,9 on püsivsuuruseks käesolevas töös
uuritud põlevkivitükkide eripinna määramisel.

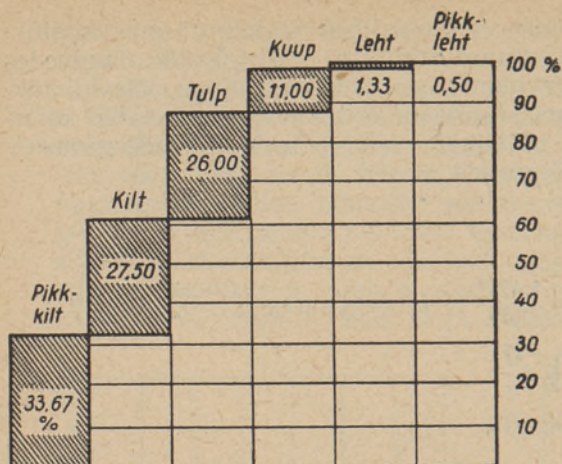
Võrreldes põlevkivitükkide eripinna ja mahuga samade tükkide projekt-
sioonipinnaga pindvõrdse ringi läbimõõduga kera pinda ja mahtu, näeme,
et põlevkivitüki proovi keskmine pind on

$$\frac{fd_e^2}{\pi d_e^2} = \frac{f}{\pi} = \frac{2,96}{\pi} = 0,943 \text{ ehk } 94,3\%$$

kera pinnast ja keskmine maht

$$\frac{kd_e^3}{\pi d_e^3} = \frac{k}{\pi} = \frac{0,265}{0,5236} = 0,507 \text{ ehk } 50,7\% \text{ kera mahust.}$$

Järelikult omavad põlevkivitükid võrreldes vastava läbimõõduga keraga
ligikaudu kaks korda suuremat eripinda. Tüki kuju selle omaduse ärakasu-
tamiseks, põlemise intensiivistamiseks ja ühtlustamiseks tuleb põlevaid
põlevkivitükke reaktsioonitsoonis hoida võimalikult pidevas liikumises —
näiteks nn. „keevast” kihis, murdjoonelise pinnakujuga restil või hõljuvas
olekus. Arvuline kokkuvõte proovide liigituse kohta vastavalt tüki kujule
näitab, et kiltkuju on põlevkivitükkide põhiliseks vormiks (joon. 7). Teatav
kõrvalekaldumine kiltkujust on osaliselt tingitud põlevkivis esineva ja



Joon. 7. Põlevkivitükkide kuju liike. Liikide selgitus: kuubil, kildal ja lehel $a = (1 - 1,3)b$; kui $c = (1 - 0,7)b$ — kuup, $(0,7 - 0,3)b$ — kilt, $0,3b$ — leht. Tulbal, pikk-kildal ja pikk-lehel $a > 1,3b$, kusjuures a — tüki pikkus, b — laius ja c — paksus.

tõeline erikaal ületab tunduvalt kivisöe erikaalu ja on ligikaudu 20% võrra suurem antratsiidi erikaalust.

põlevkivist tunduvalt erinevate kõvadusomadustega aheraine sisaldusest. Tüki kuju uurimiseks võetud põlevkiviproovide vastavust standardsele põlevkivile kontrolliti proovide niiskuse, põlemisväärtuse ja tuhasisalduse kindlakstelemise teel (tabel 3). Põlevkivi proovitükkide kuivaine põlemisväärtus ja tuhasisaldus sobisid hästi riiklikus standardis 3293-46 toodud andmetega. Niiskuse õhukuival ainel oli vähem kui 1%. Ühtlasi määrati poorsus nii harilikku temperatuuri juures oleva põlevkivi kui ka 400°-ni kuumutatud põlevkivi kohta, mis näitas poorsuse suurenemist 83,5% võrra 400°-ni kuumutatud põlevkivil. Põlevkivi

Tabel 3

Põlevkivi proovide füüsikalised ja keemilised omadused

Jrk. nr.	Nimetus	Mõõtühik	Näitaja
1	Ohukuiva aine niiskuse (juulikuus)	%	0,86
2	Kuivaine tuhasisaldus	%	41,04
3		%	13,61
4		%	54,65
5	Orgaanilise aine sisaldus kuivaines	%	45,35
6	Põlemisväärtus kuivainel	kcal/kg	4031
7	Tõeline erikaal		1,64
8	„ „ pärast kuumutamist kuni 400°-ni		1,61
9	Näiline erikaal		1,35
10	„ „ pärast kuumutamist kuni 400°-ni		1,09
11	Poorsus	%	17,55
12	„ pärast kuumutamist kuni 400°-ni	%	32,22

Energeetika Instituudi kütuse laboratooriumi poolt aastail 1946—1950 mitmesugustele tarbijatele saadetud põlevkivi analüüside tulemused (158 proovi) tõendasid, et põlevkivi kuivaine kütteväärtus piirides 1100—3700 kcal/kg oli proportsionaalne orgaanilise aine sisaldusega. See kinnitab veel kord seda, et põlevkivi orgaanilise aine kütteväärtus on püsiv suurus, ligikaudu 8400 kcal/kg. Määrates tuhasisalduse põlevkivi kuivaines, võime teha ligikaudseid järeldusi põlevkivi kütteväärtuse kohta.

Põlevkivi, poolkoksi ja tuha struktuuri ning sama põlevkivi tükkide kuju uurimise tulemused ja nende võrdlus teiste uurijate poolt saadud tulemustega lubavad teha järgmisi järeldusi.

1. Põlevkivi kuivaine kolmest põhikomponendist kaks koosnevad: a) orgaanilise aine pesadest suurusega 0,020 kuni 0,140 mm, kusjuures

sõltuvalt suurusest pesades leidub 10 kuni 30 terakest läbimõõduga 0,003 kuni 0,006 mm, ja b) maistekkelisest (terrigeensest) ainest terasuurusega 0,002 kuni 0,006 mm, mille hulgas esineb ka kvartsiterakesi läbimõõduga kuni 0,300 mm.

2. Põlevkivi anorgaanilist osa võib lihtsustatult vaadata kui sette kivimi hajutatud keskkonda ja orgaanilise aine pesi kui süsteemi faase. Orgaanilise aine kütteväärtus on ümmarguselt 8400 kcal/kg ja hügroskoopne niiskus põlevkivis alla 1%. Orgaanilises aines puudub peaaegu täielikult mineraalne ballast, s. o. kütuse primaartuht. Orgaanilise aine pesi leidub ka vahekihtides, kuid vähemal määral kui põlevkivis.

3. Kuni 500°-ni kuumutatud põlevkivis on orgaaniline aine lendunud oma algasukohast ja vähene osa orgaanilisest ainest (ligikaudu 15%) on koksistunud anorgaanilises massis. Lendained lahkuvad põlevkivist peamiselt ladestuse pikisuunas, tekitades selles suunas struktuuri purunemisi. Tüki välispinnale tekivad käänulised kanalikesed ovaalse ristlõikega, mille läbimõõt on 1—2 mm ja sügavus mõni millimeeter.

Kuumutamisel kuni 400°-ni tõuseb põlevkivitükkide poorsus ligikaudu 18 protsendilt 32 protsendile.

4. Põlevkivitükkide levinumaks ja keskseks kujud tüki suuruse juures 5 kuni 65 mm on kiltkuju. Suurima ristlõike projektsioonipind võrdub ligikaudu tüki laiuse b ruuduga, tüki välispind $S = 3,76b^2$ ja eripind $s = \frac{S}{\gamma_n V}$.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Energeetika Instituut

Saabus toimetusse
6. I 1954

KIRJANDUS

1. Я. О. Габинский и Э. И. Баданова, О природе испытаний механических свойств кокса, «Кокс и химия», № 8, 1936.
2. Х. К. Труу, Теория и практика сжигания горючего сланца. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Москва, ЭНИН АН СССР, 1951, стр. 87.
3. Х. К. Труу, Г. Д. Кесаманлы, Опытное сжигание горючих сланцев Азербайджана в лабораторной двухступенчатой топке Института промышленных проблем АН Эстонской ССР. Известия Академии наук Азербайджанской ССР, № 11, 1952.
4. Н. Winkler, Der estländische Brennschiefer, Tallinn, 1930, lisad.

О ПРИРОДЕ И СВОЙСТВАХ СЛАНЦА-КУКЕРСИТА

Х. К. ТРУУ,

доктор технических наук

Резюме

Знание физико-химических характеристик горючего сланца недостаточно для разрешения проблемы рационального использования этого топлива, обладающего многими специфическими свойствами, в особенности для разработки способов его сжигания. Поэтому в данной работе изучалась также и физическая природа свежего и подвергнутого обогриванию сланца-кукерсита (сланец эстонского месторождения) способом микроскопического анализа. Было проведено исследование микрошлифов вертикальных и горизонтальных разрезов всех пластов промышленной пачки сланца. Ввиду существенной роли аэродинамических фак-

торов в процессе горения были исследованы также геометрические характеристики кусков указанного выше сланца размером 0—10, 10—20, 20—30, 30—40, 40—50 и 50—65 мм.

Исследование физической природы сланца-кукерсита подтвердило, что этот сланец ориентировочно можно рассматривать как дисперсную систему, где в качестве фазы фигурируют микрогнездышки органического вещества, наподобие остатков водорослей. Означенные микрогнездышки имеют величину 0,02—0,14 мм и, в зависимости от величины, содержат от 10 до 30 микрозернышек размером 0,003—0,006 мм. Средой системы является скелет из терригенного материала и отложения карбонатов. Терригенный материал состоит главным образом из частиц величиной 0,002—0,006 мм, причем отдельные зернышки кварца достигают величины 0,3 мм.

Обследование микрошлифов кусков сланца-кукерсита, подвергнутых обогреванию до 380—400°, показало расплывание органического вещества по порам куска. При температуре 500° наблюдалось почти полное отсутствие органического вещества в его первоначальном местоположении, чем подтверждается также почти полное отсутствие первичной золы в этом топливе. Незначительная доля (порядка 15%) горючей массы «оседала» в порах минерального скелета. Выход летучих веществ происходил главным образом в продольном направлении пласта и сопровождался разрушением структуры и образованием извилистых каналов размером 1—2 мм.

Исследование геометрических характеристик кусков сланца-кукерсита указанной выше величины показало, что куски сланца бывают кубообразной, плитчатой, пластинчатой, столбчатой, удлиненно-плитчатой и удлиненно-пластинчатой формы, причем преобладающей является удлиненно-плитчатая форма куска. Рассматривая размеры кусков по отношению к ширине куска b , получаем в среднем следующие значения: $a = 1,43b$, $c = 0,64b$, $d_s = 1,13b$, $F = b^2$, $S = 3,76b^2$, $V = 0,38b^3$, где a — длина куска, c — толщина, F — максимальная площадь ортогональной проекции куска, d_s — диаметр круга с той же площадью, S — внешняя поверхность куска, V — объем, γ_k — кажущийся удельный вес топлива и G — вес куска. Удельная поверхность куска $s = \frac{S}{G}$ определяется формулой

$$s = \frac{9,9}{\gamma_k b} \text{ см}^2/\text{г}.$$

Действительный удельный вес проб сланца согласно результатам опытов был $\gamma_d = 1,64$, кажущийся удельный вес $\gamma_k = 1,35$, пористость — 18%. То же для проб, подвергнутых обогреву до 400°: $\gamma_d = 1,6$, $\gamma_k = 1,1$ и пористость 32%.